

多级道路网的最优路径算法研究

陈玉敏¹ 龚健雅² 史文中³

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 香港理工大学土地测量与地理资讯学系, 香港九龙红磡)

摘要: 针对大区域道路网的最优路径问题, 分析了现有算法的不足, 提出了采用金字塔似的多级道路网数据模型解决大数据量的网络分析问题, 论述了多级道路网的数据模型构建以及多级道路网的最优路径算法。从实例分析可以看出, 该模型及算法在处理大区域道路网最优路径分析上是可行的。

关键词: 多级道路网模型; 最优路径算法; 多尺度

中图法分类号: P208

为了处理大区域的道路网计算问题, 许多学者提出了一些新的方法, 如空间分解道路网络模型算法^[1]、道路分等级分解的启发式最优路径算法^[2]、基于启发式搜索和地图分级搜索的快速最优路径算法^[3]等。多数算法都是采用网络分解技术或分级技术用来减少计算负担和大规模网络的存储需求。然而现有的网络分解分级技术存在着一些问题, 主要表现在: ① 道路网分解的划分规则没有统一标准。② 道路网分级处理时, 大多按照道路的属性, 如主干道、次干道等, 对道路网络进行分级, 要求属性信息非常完整, 否则无法分级。③ 在提取出的每一级道路网不连通时, 该如何处理。④ 在涉及到几百甚至几千幅地图时, 从每幅图中提取主干道、次干道网络再拼接成多级道路网, 其工作量巨大, 可行性不强。

针对以上问题, 本文以分解分级方法为基础, 提出采用多尺度信息作为分级标准。

1 多级道路网数据模型

我国基础地理信息的比例尺系列包括 1 : 100 万、1 : 50 万、1 : 25 万、1 : 10 万、1 : 5 万、1 : 1 万等, 多尺度自然就起到了分级的作用, 在 1 : 100 万全国道路网中, 包含着国道和高速公路等信息; 在 1 : 25 万道路网中, 还存在着省级的一

级道路、二级道路等; 在 1 : 1 万道路网中, 包含着城市的主干道、次干道、一般公路等信息。多尺度信息的这种分级特性与道路的属性信息相关, 主要道路存在于小比例尺地图中, 次要道路存在于大比例尺地图中。因此, 可以采用多尺度数据构建金字塔似的多级道路网结构处理大区域的路径搜索问题, 如图 1 所示。

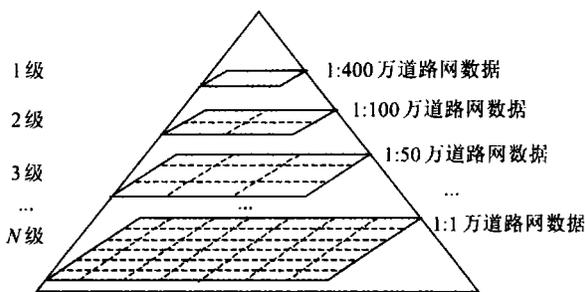


图 1 金字塔似多级道路网数据模型

Fig. 1 Data Model of Multi level Road Network

基于多尺度数据构建的多级道路网模型改善了原有的分级分解算法中存在的一些问题, 主要改进之处如下: ① 现有的分级分解算法一般按照道路的属性对道路网络进行分级, 因而在道路属性信息不完整的情况下无法处理。另外, 在大区域范围内, 即使属性信息齐全, 提取构建多级道路网工作量繁重, 不易实施。在全国基本比例尺地形图库已经建立的情况下, 采用多尺度数据构建

多级道路网显然是可行的。② 根据道路属性进行分级处理, 很难保证提取的同一级道路网是连通的, 而采用多尺度数据构建的多级道路网, 在每一比例尺下, 道路网数据具有连通性。③ 根据问题需要, 在大范围区域选用多尺度数据, 在小范围选用基于道路属性信息提取的多级道路网, 可以方便地构建多级道路网络。

2 多级道路网最优路径算法

在金字塔似的多级道路网数据模型的基础上, 从低到高逐级进行最优路径计算, 每级计算可采用较为成熟的最优路径算法, 如 Dijkstra 算法。将各级道路网的计算结果连接形成一条完整路径, 直到最高一级计算完毕, 算法结束。

设金字塔似的多级道路网一共有 N 级 ($N \geq 1$), 则从起点 S 到第 i 级 ($i \leq N$) 道路网的第 j 个结点的最优路径计算公式为:

$$D(v_{ij}) = S(v_{i-1}) + d(v_{ij}) \quad (1)$$

式中, $S(v_{i-1})$ 表示从第 1 级到第 $i-1$ 级道路网计算得到的最优路径长度的总和, 可进一步表示为:

$$S(v_{i-1}) = \sum_{m=1}^{i-1} d(v_m) \quad (2)$$

$d(v_m)$ 为第 m 级最优路径的总长度; $d(v_{ij})$ 表示第 j 个结点在第 i 级道路网中的最优路径长度, 如果每一级道路网的最优路径计算采用 Dijkstra 算法, 则 $d(v_{ij})$ 可表示为:

$$d(v_{ij}) = \min\{d(v_j), d(v_{ik}) + W_{ikj}\} \quad (3)$$

$d(v_{ik})$ 表示结点 v_{ik} 具有最小的 T 标号; W_{ikj} 表示结点 v_{ik} 到结点 v_{ij} 的权值。

具体计算步骤如下。

1) 多级道路网的构建。确定所采用的道路网数据, 并将数据由粗到细构建金字塔似的多级道路网数据模型, 保证每一级的道路网是连通的。多级道路网数据模型描述为:

$$G = (G_1, G_2, \dots, G_n) = ((V_1, E_1), (V_2, E_2), \dots, (V_n, E_n)) \quad (4)$$

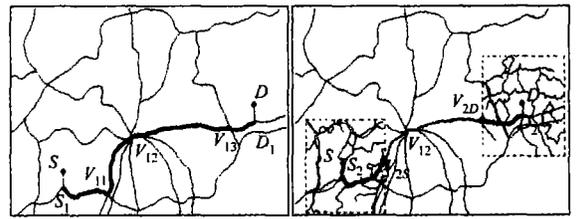
式中, $G_i(V_i, E_i)$ 表示第 i 级道路网。

2) 在一级道路网 G_1 中, 搜索从起点 S 到终点 D 的最优路径, 其中, S_1 表示起点 S 在一级道路网中距离最近的一条道路线的垂点; D_1 表示终点 D 在距离最近的一条道路线的垂点, 如图 2(a) 所示。将 S_1 和 D_1 加入到 G_1 中, 并采用 Dijkstra 算法, 得到的最优路径为:

$$R_{1S_1D_1} = (V_{10} = S_1, V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1k} = D_1) \quad (5)$$

3) 判断是否存在二级道路网, 如果存在, 则

分别截取距离起点 S 和终点 D 的一定边界范围内的二级道路网络。边界范围可以根据问题需要来确定, 可以选择一个省或城市边界, 也可采用圆形或矩形区域, 如图 2(b) 所示。截取的两个子网 G_{2S} 、 G_{2D} 可以是不连通的, 但每个子网内部必须连通。将子网 G_{2S} 、 G_{2D} 与一级道路网叠加, 可以发现, 同一条道路在大比例尺中记载的弯曲程度更接近真实性, 而小比例尺中要平滑得多, 其形状并非完全一致。



(a)一级道路网最优路径搜索 (b)二级道路网最优路径搜索

图 2 多级道路网的最优路径搜索

Fig.2 Optimal Path Algorithm of Multi level Road Network

4) 分别在截取的二级道路网的两个子网 G_{2S} 、 G_{2D} 内进行最优路径搜索, 如图 2(b) 所示, S_2 表示起点 S 在二级道路网络中距离最近的一条道路线的垂点, D_2 表示终点 D 在距离最近的一条道路线的垂点。在子网 G_{2S} 中存在路径搜索的起点 S_2 , 还需要确定 G_{2S} 中的搜索终点 V_{2S} , 同样需要确定子网 G_{2D} 中的搜索起点 V_{2D} 。将子网 G_{2D} 的入口部分放大, 如图 3 所示, 粗线表示一级道路网, 细线表示二级道路网。由一级道路网的搜索路径 $R_{1S_1D_1}$ 可知, 经过 (V_{12}, V_{13}) 路段, 该路段也是子网 G_{2D} 的入口路段, 因此, 在子网 G_{2D} 内, 需先沿着该路段行驶, 直到遇到下一个路口, 这就要求搜索的起点 V_{2D} 在 (V_{12}, V_{13}) 路段上, 并且在子网 G_{2D} 内。其实质是在子网 G_{2D} 内寻找与路段 (V_{12}, V_{13}) 相匹配的路段上的一点作为起点 V_{2D} 。这涉及到多尺度地图上线状地物的匹配问题。线状地物匹配的方法很多, 笔者提出了一种快速有效的线状地物匹配算法, 具体见文献[4]。设函数 F 为线状地物匹配的映射函数, G_i 为第 i 级道路网络, G_{i+1} 为第 $i+1$ 级道路网络, L_i 为第 i 级道路网络中的一条道路线, 则通过映射函数可以得到第 $i+1$ 级道路网络中的匹配道路 L_{i+1} :

$$L_{i+1} = F(G_i, G_{i+1}, L_i) \quad (6)$$

对于通过道路属性信息提取的多级道路网络, 由于各级道路网是在同一幅道路网地图中提取的, 同一条道路在不同级的道路网中根据属性信息就可以非常准确地判断出来。

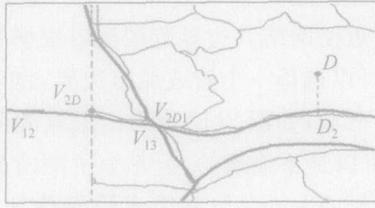


图3 二级道路网的道路匹配

Fig. 3 Road Match of Two-level Road Networks

5) 通过式(6)得到第 $i+1$ 级道路网中与第 i 级道路网的道路 L_i 匹配的线段 L_{i+1} 后, 可以在线段 L_{i+1} 上指定一点作为二级网络路径搜索的起点 V_{2D} (或是终点)。如图 3, 通过道路线段匹配可知, 一级道路网中的线段 (V_{12}, V_{13}) 与二级道路网中的 (V_{2D}, V_{2D1}) 表示的是同一线段, 选取线段 (V_{2D}, V_{2D1}) 与矩形范围的交点 V_{2D} 作为二级网络路径搜索的起点。同理可以确定子网 G_{2S} 中路径搜索的终点 V_{2S} 。分别在 G_{2S} 、 G_{2D} 两个子网中进行最优路径搜索, 得到最优路径为:

$$R_{2S_2} = (V_{2S0} = S_2, V_{2S1}, V_{2S2}, \dots, V_{2Sk} = V_{2S}) \quad (7)$$

$$R_{2D_2} = (V_{2D0} = V_{2D}, V_{2D1}, V_{2D2}, \dots, V_{2Dk} = D_2) \quad (8)$$

6) 将一级道路网最优路径 $R_{1S_1D_1}$ 和二级道路子网的最优路径 R_{2S_2} 、 R_{2D_2} 进行合并, 生成完整的二级道路网最优路径为:

$$R_{2S_2D_2} = (V_{20} = S_2, \dots, V_{2S}, V_{1m}, \dots, V_{1n}, V_{2D}, \dots, V_{2k} = D_2) \quad (9)$$

7) 判断是否存在更高一级的道路网络, 如果

存在, 则重复步骤 3) ~ 5), 获得在第 i 级道路网络中的最优路径 $R_{S_iD_i}$, 直到最高一级的道路网络, 算法结束。

3 应用实例分析

多级道路网最优路径算法的效率比单级道路网高。数据量越大, 多级道路网的算法效率越突出。多级道路网中, 低级网络一般为主要干道, 符合驾驶者首先选择行驶在主干道的愿望, 避开了交通不方便的次要道路, 合理性较高。采用北京市郊 1:1 万道路网数据, 分别进行单级和多级道路网最优路径搜索, 并比较算法效率。在每组实验中, 单级和多级道路网算法的起终点的选取是一致的。

1) 前 12 组实验: 数据包括高速公路、国道、省道、环城路、立交桥、一级道路、二级道路、三级道路八类地物层, 共有 3 593 个对象, 1 925 KB 数据量。实验中, 多级道路网分为两级, 第一级不包含三级道路地物层, 第二级是在第一级的基础上增加了三级道路地物层。路径分析总时间见表 1 中编号 1。

2) 后 12 组实验: 在上述数据的基础上加上县乡道地物层, 共有 27 655 个对象, 14 682 KB 数据量。实验中, 多级道路网分为两级, 第一级不包含三级道路和县乡道地物层, 第二级增加了三级道路和县乡道地物层。路径分析总时间见表 1 中编号 2。

表 1 单级与多级道路网路径分析算法比较

Tab. 1 Comparison with the Optimal Path Algorithm in Single level and Multi level Road Network

编号	级数		试验组数											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	单级	路径分析时间/ms	203	297	250	250	329	281	328	282	297	235	297	297
	多级	路径分析时间/ms	156	202	171	157	128	235	234	252	233	203	186	188
2	单级	路径分析时间/s	31.3	34.7	28.9	23.4	31.2	22.2	32.0	25.6	34.9	11.2	10.7	12.6
	多级	路径分析时间/s	1.9	1.6	2.0	1.4	1.4	1.5	2.2	1.1	1.2	1.0	2.3	0.9

从表 1 可以看出, 在数据量不大的情况下, 单级与多级道路网的路径分析时间相差不大。从编号 1 结果可见, 单级网络路径分析平均时间 (278.83 ms) 为多级网络路径分析平均时间 (195.42 ms) 的 1.43 倍。而在数据量较大的情况下, 单级与多级道路网的路径分析时间相差较大。从编号 2 结果可见, 单级道路网路径分析平均时间 (24.89 s) 为多级道路网路径分析平均时间 (1.54 s) 的 16.16 倍, 可见算法的改进效果是比较明显的。

图 4 显示了实验编号 1 的第五组实验的最优路径分析结果。从图 4 可见, 多级道路网的路径

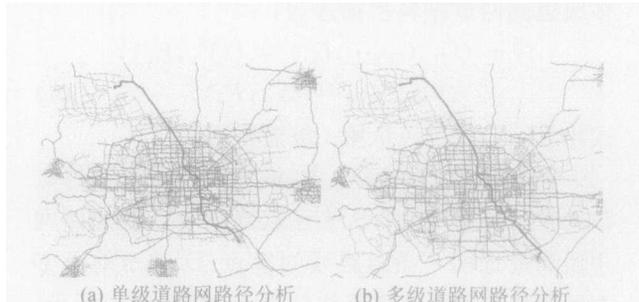


图 4 单级道路网路径分析与多级路径分析比较
Fig. 4 Comparison With the Optimal Path Algorithm in Single level and Multi level Road Network

分析首先考虑走环城路、一级、二级道路。

4 结 语

多级道路网的最优路径算法是处理大区域、大数据量道路网路径分析的一种有效的解决方案。本文对同一区域数据采用单级和多级两种道路网最优路径算法, 通过比较发现, 数据量越大, 多级道路网的路径分析算法效率越高。另外, 多级道路网最优路径算法首先寻找最近的主干道路, 符合驾驶者宁愿选择主干道、避开交通不方便的次要道路的愿望, 路径选择更为合理。

参 考 文 献

- [1] 陈则王, 袁信. 基于分层分解的一种实时车辆路径规划算法[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(2): 193-197
- [2] Jagadeesh G R, Srikanthan T. Heuristic Techniques for Accelerating Hierarchical Routing on Road Networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(4): 301-309
- [3] 彭飞, 柳重堪, 张其善. 车辆定位与导航系统中的快速路径规划算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1): 70-73
- [4] Chen Yumin, Gong Jianya. Conflation Technology Using in Spatial Data Integration on the Internet [C]. The 4th International Asia Pacific Environmental Remote Sensing Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 2005
- [5] 陆锋, 周成虎, 万庆. 基于层次空间推理的交通网络行车最优路径算法[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(3): 226-232
- [6] 李云岭, 靳奉祥, 季民. GIS 多比例尺空间数据组织体系构建研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(6): 7-10
- [7] 陈军. 多维动态地理空间框架数据的构建[J]. 地球信息科学, 2002(1): 7-13
- [8] 王艳慧, 陈军, 蒋捷, 等. 道路网多尺度数据建模的初步研究[J]. 地理信息世界, 2003, 2(3): 42-48

第一作者简介: 陈玉敏, 博士. 主要从事网络地理信息系统和图像处理技术的研究工作。
E-mail: ycym lucky@hotmail.com

Research on the Optimal Path Algorithm in Multi Level Road Network

CHEN Yumin¹ GONG Jianya² SHI Wenzhong³

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Department of Land Surveying and Geo Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hunghom, Kowloon, Hong Kong)

Abstract: The optimal path algorithms on wide range road network are reviewed and existed problems are discussed in this paper. In order to make up insufficiency of existed optimal path algorithm, the thesis proposes optimal path algorithm based on the pyramid like multi level road network. The design of algorithm, mathematics expression, as well as algorithm implementation are narrated. The application example is implemented to prove the efficiency and the rationality of this algorithm

Key words: data model of multi level road network; the optimal path algorithm; multi scale

About the first author: CHEN Yumin, Ph.D., engaged in the research on webGIS and image processing.
E-mail: ycym lucky@hotmail.com